

## 薄膜磁気ヘッドの製造方法

### 発明の背景

#### 1. 発明の技術分野

本発明は、少なくとも誘導型電磁変換素子を有する薄膜磁気ヘッドの製造方法に関する。

#### 2. 関連技術の説明

近年、ハードディスク装置の面記録密度が著しく向上している。特に最近では、ハードディスク装置の面記録密度は、80～100ギガバイト／プラッタに達し、更にそれを超える勢いである。これに伴って、薄膜磁気ヘッドの性能向上が求められている。

薄膜磁気ヘッドとしては、書き込み用の誘導型電磁変換素子を有する記録ヘッドと読み出し用の磁気抵抗効果素子（以下、MR（Magnetoresistive）素子とも記す。）を有する再生ヘッドとを積層した構造の複合型薄膜磁気ヘッドが広く用いられている。

記録ヘッドは、一般的に、記録媒体に対向する媒体対向面（エアベアリング面）と、媒体対向面側において互いに対向する磁極部分を含むと共に、互いに磁気的に連結された下部磁極層および上部磁極層と、下部磁極層の磁極部分と上部磁極層の磁極部分との間に設けられた記録ギャップ層と、少なくとも一部が下部磁極層および上部磁極層の間に、これらに対して絶縁された状態で設けられた薄膜コイルとを備えている。

ところで、記録ヘッドの性能のうち、記録密度を高めるには、記録媒体におけるトラック密度を上げる必要がある。そのためには、トラック幅、すなわち記録ギャップ層を挟んで対向する2つの磁極部分の媒体対向面での幅を、数ミクロンからサブミクロン寸法まで小さくした狭トラック構造の記録ヘッドを実現する必要がある。このような記録ヘッドを実現するために半導体加工技術が利用されている。また、記録ヘッドでは、媒体対向面において磁極部分より発生される磁束の広がりによる実効的なトラック幅の増加を防止するために、トリム構造が採用される場合が多い。トリム構造とは、上部磁極層の磁極部分をマスクとして記録

ギャップ層および下部磁極層の一部をエッチングすることによって、上部磁極層の磁極部分、記録ギャップ層および下部磁極層の一部の媒体対向面における幅が揃えられた構造を言う。

ところで、薄膜磁気ヘッドの記録特性に影響を与えるパラメータの一つに、スロートハイトがある。スロートハイトとは、2つの磁極層が記録ギャップ層を介して対向する部分、すなわち磁極部分の、媒体対向面側の端部から反対側の端部までの長さ（高さ）をいう。このスロートハイトは、媒体対向面において記録ギャップ層の近傍で発生される磁界の強度や分布に影響を与える。従って、薄膜磁気ヘッドの記録特性を正確に制御するためには、スロートハイトを正確に制御する必要がある。

スロートハイトは、下部磁極層または上部磁極層に段差部を形成することによって決定することができる。下部磁極層に段差部を形成してスロートハイトを決定する場合には、トラック幅を規定する上部磁極層を平坦な面の上に形成することが可能となり、その結果、上部磁極層の磁極部分を微細に且つ精度よく形成することが可能になる。下部磁極層に段差部を形成することによってスロートハイトを決定する方法は、例えば米国特許第6, 259, 583 B1号明細書、米国特許第6, 400, 525 B1号明細書、および米国特許第5, 793, 578号明細書に記載されている。

ここで、図21および図22を参照して、下部磁極層に、スロートハイトを決定する段差部を形成する一般的な方法について説明する。この方法では、まず、図21に示したように、下部磁極層101の上にエッチングマスク102を形成し、このエッチングマスク102を用いて下部磁極層101を選択的にエッチングして、下部磁極層101に溝部103を形成する。この方法では、下部磁極層101に形成される溝部103を構成する側壁104を、下部磁極層101の上面に垂直になるように形成することが難しい。特に、側壁104のうち、下部磁極層101の上面に近い部分104aの面は、下部磁極層101の上面に垂直な方向に対する傾きが大きくなる。

エッチング後の下部磁極層101の上には記録ギャップ層が形成される。一般的に、記録ギャップ層を形成する前には、図22に示したように、エッチングマ

スク 102 を除去した後、下部磁極層 101 を覆うように絶縁層 106 を形成し、下部磁極層 101 が露出するまで絶縁層 106 を研磨して、下部磁極層 101 および絶縁層 106 の上面を平坦化する。そして、この平坦化された面の上に記録ギャップ層が形成される。なお、図 22 において、符号 107 は、研磨を停止する位置を表している。

このような従来の方法では、前述のように、溝部 103 の側壁 104 のうち、下部磁極層 101 の上面に近い部分 104a の面は、下部磁極層 101 の上面に垂直な方向に対する傾きが大きくなる。そのため、この方法では、研磨を停止する位置によってスロートハイトが大きく変動するという問題点がある。

#### 発明の目的および概要

本発明の目的は、トラック幅を規定する磁極部分を微細に且つ精度よく形成できると共に、スロートハイトを正確に制御できるようにした薄膜磁気ヘッドの製造方法を提供することにある。

本発明の薄膜磁気ヘッドの製造方法によって製造される薄膜磁気ヘッドは、記録媒体に対向する媒体対向面と、媒体対向面側において互いに対向する磁極部分を含むと共に、互いに磁氣的に連結された第 1 および第 2 の磁極層と、第 1 の磁極層の磁極部分と第 2 の磁極層の磁極部分との間に設けられたギャップ層と、少なくとも一部が第 1 および第 2 の磁極層の間に、第 1 および第 2 の磁極層に対して絶縁された状態で設けられた薄膜コイルとを備えている。第 2 の磁極層は、トラック幅を規定するトラック幅規定部を含んでいる。

本発明の薄膜磁気ヘッドの製造方法は、

第 1 の磁極層を形成する工程と、

第 1 の磁極層の上に薄膜コイルを形成する工程と、

第 1 の磁極層の磁極部分の上にギャップ層を形成する工程と、

ギャップ層の上に、ギャップ層にスロートハイトを規定する端部を形成するためのマスクを形成する工程と、

マスクを用いてギャップ層および第 1 の磁極層の一部を選択的にエッチングすることによって、ギャップ層にスロートハイトを規定する端部を形成する工程と

マスクを残したまま、ギャップ層および第1の磁極層においてエッチングされた部分を埋めるように非磁性層を形成する工程と、

非磁性層の形成後に、マスクを除去する工程と、

マスクを除去した後に、ギャップ層の上に、第2の磁極層を形成する工程とを備えている。

本発明の薄膜磁気ヘッドの製造方法では、マスクを用いてギャップ層および第1の磁極層の一部を選択的にエッチングすることによって、ギャップ層にスロートハイトを規定する端部を形成した後、マスクを残したまま、ギャップ層および第1の磁極層においてエッチングされた部分を埋めるように非磁性層を形成する。そして、マスクを除去した後に、ギャップ層の上に第2の磁極層を形成する。これにより、トラック幅を規定する磁極部分を微細に且つ精度よく形成することが可能になると共に、スロートハイトを正確に制御することが可能になる。

本発明の薄膜磁気ヘッドの製造方法において、スロートハイトは、スロートハイトを規定する端部と第1の磁極層とが接する位置によって規定されてもよい。この場合、薄膜磁気ヘッドの製造方法は、更に、マスクを除去する工程と第2の磁極層を形成する工程との間において、ギャップ層および非磁性層の上面を研磨により平坦化する工程を備えていてもよい。この平坦化する工程における研磨量は10～50 nmの範囲内であってもよい。また、第2の磁極層のトラック幅規定部は平坦であってもよい。

また、本発明の薄膜磁気ヘッドの製造方法では、非磁性層を形成する工程において、非磁性層のうち、少なくともスロートハイトを規定する端部の近傍における一部は、ギャップ層の上面よりも上方に突出するように配置され、スロートハイトは、スロートハイトを規定する端部と第2の磁極層とが接する位置によって規定されてもよい。この場合、第2の磁極層は、ギャップ層の上に配置される第1の磁性層と、第1の磁性層の上に配置される第2の磁性層とを含んでいてもよい。また、第2の磁極層を形成する工程は、ギャップ層の上に第1の磁性層を形成する工程と、第1の磁性層の上面を研磨により平坦化する工程と、平坦化された第1の磁性層の上面の上に、第2の磁性層を形成する工程とを含んでいてもよ

い。平坦化する工程における研磨量は10～50nmの範囲内であってもよい。

また、本発明の薄膜磁気ヘッドの製造方法は、更に、第1の磁極層の一部、ギャップ層、トラック幅規定部の媒体対向面における幅をトラック幅に揃えるために、第2の磁極層のトラック幅規定部の幅に合うように、ギャップ層および第1の磁極層の一部をエッチングする工程を備えていてもよい。

また、本発明の薄膜磁気ヘッドの製造方法において、第2の磁極層を形成する工程は、ギャップ層の上に磁性層を形成する工程と、エッチング後の磁性層が第2の磁性層となるように、磁性層を反応性イオンエッチングによってエッチングする工程とを有し、ギャップ層は非磁性の無機材料よりなるものであってもよい。この場合、非磁性の無機材料は、アルミナ、シリコンカーバイド、窒化アルミニウムのいずれかであってもよい。

本発明の薄膜磁気ヘッドの製造方法では、マスクを用いてギャップ層および第1の磁極層の一部を選択的にエッチングすることによって、ギャップ層にスロートハイトを規定する端部を形成した後、マスクを残したまま、ギャップ層および第1の磁極層においてエッチングされた部分を埋めるように非磁性層を形成する。そして、マスクを除去した後に、ギャップ層の上に第2の磁極層を形成する。これにより、トラック幅規定部を含む第2の磁極層を平坦またはほぼ平坦な面上に形成することができる。また、本発明では、スロートハイトは、ギャップ層に形成された、スロートハイトを規定する端部の位置によって規定され、第1の磁極層の研磨に伴うスロートハイトの変動は生じない。以上のことから、本発明によれば、トラック幅を規定する磁極部分を微細に且つ精度よく形成することができると共に、スロートハイトを正確に制御することができる。

本発明のその他の目的、特徴および利益は、以下の説明を以って十分明白になるであろう。

#### 図面の簡単な説明

図1Aおよび図1Bは、本発明の第1の実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドの製造方法における一工程を説明するための断面図である。

図2Aおよび図2Bは、図1Aおよび図1Bに続く工程を説明するための断面

図である。

図 3 A および図 3 B は、図 2 A および図 2 B に続く工程を説明するための断面図である。

図 4 A および図 4 B は、図 3 A および図 3 B に続く工程を説明するための断面図である。

図 5 A および図 5 B は、図 4 A および図 4 B に続く工程を説明するための断面図である。

図 6 A および図 6 B は、図 5 A および図 5 B に続く工程を説明するための断面図である。

図 7 A および図 7 B は、図 6 A および図 6 B に続く工程を説明するための断面図である。

図 8 A および図 8 B は、図 7 A および図 7 B に続く工程を説明するための断面図である。

図 9 A および図 9 B は、図 8 A および図 8 B に続く工程を説明するための断面図である。

図 10 A および図 10 B は、図 9 A および図 9 B に続く工程を説明するための断面図である。

図 11 A および図 11 B は、図 10 A および図 10 B に続く工程を説明するための断面図である。

図 12 A および図 12 B は、図 11 A および図 11 B に続く工程を説明するための断面図である。

図 13 A および図 13 B は、図 12 A および図 12 B に続く工程を説明するための断面図である。

図 14 A および図 14 B は、図 13 A および図 13 B に続く工程を説明するための断面図である。

図 15 は、本発明の第 1 の実施の形態における薄膜磁気ヘッドにおける薄膜コイルの形状および配置を示す平面図である。

図 16 は、本発明の第 1 の実施の形態における薄膜磁気ヘッドの構成を示す斜視図である。

図 1 7 A および図 1 7 B は、本発明の第 1 の実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドの製造方法の変形例における一工程を説明するための断面図である。

図 1 8 A および図 1 8 B は、本発明の第 2 の実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドの製造方法における一工程を説明するための断面図である。

図 1 9 A および図 1 9 B は、図 1 8 A および図 1 8 B に続く工程を説明するための断面図である。

図 2 0 A および図 2 0 B は、図 1 9 A および図 1 9 B に続く工程を説明するための断面図である。

図 2 1 は、下部磁極層に、スロートハイトを決定する段差部を形成する一般的な方法について説明するための説明図である。

図 2 2 は、下部磁極層に、スロートハイトを決定する段差部を形成する一般的な方法について説明するための説明図である。

#### 好適な実施の形態の詳細な説明

以下、本発明の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。

##### [第 1 の実施の形態]

まず、図 1 A ないし図 1 4 A、図 1 B ないし図 1 4 B、図 1 5 および図 1 6 を参照して、本発明の第 1 の実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドの製造方法について説明する。なお、図 1 A ないし図 1 4 A はエアベアリング面および基板の上面に垂直な断面を示し、図 1 B ないし図 1 4 B は磁極部分のエアベアリング面に平行な断面を示している。図 1 5 は、本実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドにおける薄膜コイルの形状および配置を示す平面図である。図 1 6 は、オーバーコート層を除いた状態における本実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドの構成を示す斜視図である。

本実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドの製造方法では、まず、図 1 A および図 1 B に示した工程を行なう。この工程では、まず、例えばアルミニウムオキシド・チタニウムカーバイド ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{TiC}$ ) よりなる基板 1 の上に、例えばアルミナ ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) よりなる絶縁層 2 を、約  $1 \sim 3 \mu\text{m}$  の厚みで堆積する。次に、絶縁層 2 の上に、磁性材料、例えばパーマロイよりなる再生ヘッド用の下部シ

ールド層 3 を、約  $2 \sim 3 \mu\text{m}$  の厚みに形成する。下部シールド層 3 は、例えば、フォトレジスト膜をマスクにして、めっき法によって、絶縁層 2 の上に選択的に形成する。次に、図示しないが、全体に、例えばアルミナよりなる絶縁層を、例えば  $3 \sim 4 \mu\text{m}$  の厚みに形成し、例えば化学機械研磨（以下、CMP と記す。）によって、下部シールド層 3 が露出するまで研磨して、表面を平坦化処理する。

次に、下部シールド層 3 の上に、絶縁膜としての下部シールドギャップ膜 4 を、例えば約  $20 \sim 40 \text{ nm}$  の厚みに形成する。次に、下部シールドギャップ膜 4 の上に、磁気的信号検出用の MR 素子 5 を、数十  $\text{nm}$  の厚みに形成する。MR 素子 5 は、例えば、スパッタによって形成した MR 膜を選択的にエッチングすることによって形成する。また、MR 素子 5 は、後述するエアベアリング面が形成される位置の近傍に配置される。なお、MR 素子 5 には、AMR 素子、GMR 素子、あるいは TMR（トンネル磁気抵抗効果）素子等の磁気抵抗効果を示す感磁膜を用いた素子を用いることができる。次に、図示しないが、下部シールドギャップ膜 4 の上に、MR 素子 5 に電氣的に接続される一対の電極層を、数十  $\text{nm}$  の厚みに形成する。次に、下部シールドギャップ膜 4 および MR 素子 5 の上に、絶縁膜としての上部シールドギャップ膜 7 を、例えば約  $20 \sim 40 \text{ nm}$  の厚みに形成し、MR 素子 5 をシールドギャップ膜 4、7 内に埋設する。シールドギャップ膜 4、7 に使用する絶縁材料としては、アルミナ、窒化アルミニウム、ダイヤモンドカーボン（DLC）等がある。また、シールドギャップ膜 4、7 は、スパッタ法によって形成してもよいし、化学的気相成長（以下、CVD と記す。）法によって形成してもよい。

次に、上部シールドギャップ膜 7 の上に、磁性材料よりなる、再生ヘッド用の上部シールド層 8 を、約  $1.0 \sim 1.5 \mu\text{m}$  の厚みで、選択的に形成する。次に、図示しないが、全体に、例えばアルミナよりなる絶縁層を、例えば  $2 \sim 3 \mu\text{m}$  の厚みに形成し、例えば CMP によって、上部シールド層 8 が露出するまで研磨して、表面を平坦化処理する。

次に、ここまでの工程で得られた積層体の上面全体の上に、例えばアルミナよりなる絶縁層 9 を、約  $0.3 \mu\text{m}$  の厚みで形成する。次に、絶縁層 9 の上面全体の上に、磁性材料によって、下部磁極層 10 の第 1 の層 10a を、約  $0.5 \sim 1$

． 0  $\mu\text{m}$ の厚みで形成する。この第1の層10 aは全体的に平坦な上面を有している。下部磁極層10は、第1の層10 aと、後述する第2の層10 b、第3の層10 d、第4の層10 fおよび連結層10 c, 10 e, 10 gとを含む。

第1の層10 aは、例えば、材料としてNiFe (Ni : 80重量%, Fe : 20重量%) や、高飽和磁束密度材料であるNiFe (Ni : 45重量%, Fe : 55重量%)、CoNiFe (Co : 10重量%, Ni : 20重量%, Fe : 70重量%) またはFeCo (Fe : 67重量%, Co : 33重量%) を用いて、めっき法によって形成してもよい。あるいは、第1の層10 aは、材料として高飽和磁束密度材料であるCoFeN、FeAlN、FeN、FeCo、FeZrN等を用いてスパッタ法によって形成してもよい。ここでは、一例として、第1の層10 aは、スパッタ法によって、0.5～1.0  $\mu\text{m}$ の厚みに形成するものとする。

次に、第1の層10 aの上に、例えばアルミナよりなる絶縁膜11を、例えば0.2  $\mu\text{m}$ の厚みで形成する。次に、絶縁膜11を選択的にエッチングして、第2の層10 bと連結層10 cを形成すべき位置において、絶縁膜11に開口部を形成する。

次に、図示しないが、第1の層10 aおよび絶縁膜11を覆うように、例えばスパッタ法によって、導電性材料よりなる電極膜を、50～80 nmの厚みで形成する。この電極膜は、めっきの際の電極およびシード層として機能する。次に、図示しないが、フォトリソグラフィによって、電極膜の上に、めっき法によって第1のコイル13を形成するためのフレームを形成する。

次に、電極膜を用いて電気めっきを行って、金属、例えばCu (銅) よりなる第1のコイル13を、約3.0～3.5  $\mu\text{m}$ の厚みで形成する。第1のコイル13は、絶縁膜11が配置された領域内に配置される。次に、フレームを除去した後、例えばイオンビームエッチングによって、電極膜のうち、第1のコイル13の下に存在する部分以外の部分を除去する。

次に、図示しないが、フォトリソグラフィによって、第1の層10 aおよび絶縁膜11の上に、フレームめっき法によって下部磁極層10の第2の層10 bおよび連結層10 cを形成するためのフレームを形成する。

図2 Aおよび図2 Bは次の工程を示す。この工程では、電気めっきを行って、第1の層10 aの上に、それぞれ磁性材料よりなる第2の層10 bおよび連結層10 cを、それぞれ例えば3.5～4.0  $\mu\text{m}$ の厚みで形成する。第2の層10 bおよび連結層10 cの材料としては、例えばNiFe、CoNiFeまたはFeCoが用いられる。ここでは、一例として、第2の層10 bおよび連結層10 cの材料として、飽和磁束密度が1.9～2.3 T (テスラ) のCoNiFeを用いるものとする。本実施の形態では、第2の層10 bおよび連結層10 cをめっき法によって形成する際に、特別な電極膜を設けずに、パターニングされていない第1の層10 aをめっき用の電極およびシード層として用いる。

次に、図示しないが、第1のコイル13、第2の層10 bおよび連結層10 cを覆うようにフォトレジスト層を形成する。次に、このフォトレジスト層をマスクとして、例えば反応性イオンエッチングまたはイオンビームエッチングによって、第1の層10 aを選択的にエッチングして、第1の層10 aをパターニングする。次に、フォトレジスト層を除去する。

図3 Aおよび図3 Bは次の工程を示す。この工程では、後述する第2のコイル19を配置すべき位置に、例えばフォトレジストよりなる絶縁層15を形成する。この絶縁層15は、少なくとも、第2の層10 bと第1のコイル13との間、第1のコイル13の巻線間、および連結層10 cと第1のコイル13との間に充填されるように形成される。次に、絶縁層15を覆うように、例えばアルミナよりなる絶縁層16を、4～6  $\mu\text{m}$ の厚みで形成する。

図4 Aおよび図4 Bは次の工程を示す。この工程では、例えばCMPによって、第2の層10 b、連結層10 cおよび絶縁層15が露出し、且つ第2の層10 b、連結層10 c、絶縁層15および絶縁層16 (図4 Aおよび図4 Bでは図示せず) の上面が平坦化されるように、絶縁層15および絶縁層16を研磨する。

図5 Aおよび図5 Bは次の工程を示す。この工程では、絶縁層15を除去した後、例えばCVD法によって、積層体の上面全体を覆うように、例えばアルミナよりなる絶縁膜17を形成する。これにより、第2の層10 bと第1のコイル13との間、第1のコイル13の巻線間、および連結層10 cと第1のコイル13との間に、それぞれ絶縁膜17によって覆われた溝部が形成される。絶縁膜17

の厚みは、例えば $0.08 \sim 0.15 \mu\text{m}$ である。この絶縁膜17は、例えば、減圧下で $180$ から $220^\circ\text{C}$ の温度の下で、薄膜形成に用いられる材料としての $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{N}_2$ 、 $\text{N}_2\text{O}$ または $\text{H}_2\text{O}_2$ と、薄膜形成に用いられる材料としての $\text{Al}(\text{CH}_3)_3$ または $\text{AlCl}_3$ が交互に断続的に噴射されることにより、CVD法によって形成される膜であってもよい。この形成方法によれば、複数の薄いアルミナ膜が積層されて、緻密でステップカバレッジのよい、所望の厚みの絶縁膜17が形成される。

次に、積層体の上面全体を覆うように、スパッタ法によって、例えばCuよりなる第1の導電膜を、例えば $50 \text{ nm}$ の厚みで形成する。次に、この第1の導電膜の上に、CVD法によって、例えばCuよりなる第2の導電膜を、例えば $50 \text{ nm}$ の厚みで形成する。第2の導電膜は、第2の層10bと第1のコイル13との間、第1のコイル13の巻線間、および連結層10cと第1のコイル13との間の各溝部全体を埋めることを目的とせず、CVD法のステップカバレッジの良さを生かして溝部を覆うことを目的として形成される。第1および第2の導電膜を合わせて電極膜と呼ぶ。この電極膜は、めっきの際の電極およびシード層として機能する。次に、電極膜の上に、めっき法によって、金属、例えばCuよりなる導電層19pを、例えば $3 \sim 4 \mu\text{m}$ の厚みで形成する。電極膜および導電層19pは、第2のコイル19を形成するために用いられる。CVD法によって形成されたCuよりなる第2の導電膜の上に、めっき法によってCuよりなる導電層19pを形成することにより、第2の層10bと第1のコイル13との間、第1のコイル13の巻線間、および連結層10cと第1のコイル13との間に確実に第2のコイル19を形成することが可能になる。

図6Aおよび図6Bは次の工程を示す。この工程では、例えばCMPによって、第2の層10b、連結層10cおよび第1のコイル13が露出するまで、導電層19pを研磨する。これにより、第2の層10bと第1のコイル13との間、第1のコイル13の巻線間、および連結層10cと第1のコイル13との間に残った導電層19pおよび電極膜によって、第2のコイル19が形成される。上記研磨は、第2の層10b、連結層10c、第1のコイル13および第2のコイル19の厚みが例えば $2.0 \sim 3.0 \mu\text{m}$ になるように行う。第2のコイル19は

、少なくとも一部が第1のコイル13の巻線間に配置された巻線を有している。  
また、第2のコイル19は、第1のコイル13の巻線と第2のコイル19の巻線との間に絶縁膜17のみが介在するように形成される。

図15は、第1のコイル13および第2のコイル19を示している。図6Aは、図15における6A-6A線で示される断面を表わしている。なお、図15には、後に形成される接続層21、46、47、上部磁極層30およびエアベアリング面42も示している。図15に示したように、第1のコイル13における内側端部近傍の部分には接続部13aが設けられている。第1のコイル13における外側端部近傍の部分には接続部13bが設けられている。また、第2のコイル19における内側端部近傍の部分には接続部19aが設けられている。第2のコイル19における外側端部近傍の部分には接続部19bが設けられている。

なお、第1のコイル13を形成する工程または第2のコイル19を形成する工程では、図15に示したように、下部磁極層10の第1の層10aの外側に配置されるように、2つのリード層44、45を形成する。リード層44、45は、それぞれ、接続部44a、45aを有している。

接続部13aと接続部19bは、後に形成される接続層21によって接続されるようになっている。接続部44aと接続部13bは、後に形成される接続層46によって接続されるようになっている。接続部19aと接続部45aは、後に形成される接続層47によって接続されるようになっている。

図7Aおよび図7Bは次の工程を示す。この工程では、積層体の上面全体を覆うように、例えばアルミナよりなる絶縁膜20を、0.1~0.3 $\mu$ mの厚みで形成する。次に、絶縁膜20のうち、第2の層10bに対応する部分、連結層10cに対応する部分、第1のコイル13の2つの接続部13a、13bに対応する部分、第2のコイル19の2つの接続部19a、19bに対応する部分、リード層44の接続部44aに対応する部分、およびリード層45の接続部45aに対応する部分を選択的にエッチングする。エッチング後の絶縁膜20は、第1のコイル13の2つの接続部13a、13bおよび第2のコイル19の2つの接続部19a、19bを除いて、コイル13、19の上面を覆う。

次に、例えばフレームめっき法によって、図15に示した接続層21、46、

47を形成する。接続層21, 46, 47は、金属、例えばCuによって形成される。また、接続層21, 46, 47の厚みは、例えば0.8~1.5 $\mu$ mである。

次に、例えばフレイムめっき法によって、第2の層10bの上に第3の層10dを形成し、連結層10cの上に連結層10eを形成する。第3の層10dおよび連結層10eの材料としては、例えばNiFe、CoNiFeまたはFeCoが用いられる。ここでは、一例として、第3の層10dおよび連結層10eの材料として、飽和磁束密度が1.9~2.3TのCoNiFeを用いるものとする。また、第3の層10dおよび連結層10eの厚みは、例えば0.8~1.5 $\mu$ mである。

次に、積層体の上面全体を覆うように、例えばアルミナよりなる絶縁膜22を、1~2 $\mu$ mの厚みで形成する。次に、例えばCMPによって、絶縁膜22を研磨する。この研磨は、第3の層10d、連結層10e、接続層21, 46, 47および絶縁膜22の上面が平坦化され、且つこれらの厚みが0.3~1.0 $\mu$ mになるように行う。

次に、図示しないが、積層体の上面全体を覆うように、スパッタ法によって、磁性材料よりなる磁性層を、0.3~0.5 $\mu$ mの厚みで形成する。磁性層の材料としては、CoFeN、FeAlN、FeN、FeCo、FeZrN等の高飽和磁束密度材料が用いられる。ここでは、一例として、磁性層の材料として、飽和磁束密度が2.4TのCoFeNを用いるものとする。

図8Aおよび図8Bは次の工程を示す。この工程では、上記磁性層の上であって、第3の層10dに対応する部分および連結層10eに対応する部分に、それぞれ、エッチングマスク24a, 24bを形成する。エッチングマスク24a, 24bは、後に容易にリフトオフできるように、底面が上面よりも小さくなるようにアンダーカットを有している。このようなエッチングマスク24a, 24bは、例えば積層された2つの有機膜からなるレジスト層をパターニングすることによって形成される。

次に、エッチングマスク24a, 24bを用い、例えばイオンビームエッチングによって、磁性層を選択的にエッチングする。エッチング後にエッチングマス

ク 2 4 a, 2 4 b の下に残った磁性層によって、第 3 の層 1 0 d、連結層 1 0 e の上に、それぞれ第 4 の層 1 0 f、連結層 1 0 g が形成される。このエッチングは、例えば、まず、イオンビームの進行方向が第 1 の層 1 0 a の上面に垂直な方向に対してなす角度が  $0 \sim 20^\circ$  となるようにして行う。次に、エッチング後の磁性層 2 3 の側壁の付着物を除去するために、イオンビームの進行方向が第 1 の層 1 0 a の上面に垂直な方向に対してなす角度が  $60 \sim 75^\circ$  となるようにしてエッチングを行なう。

次に、エッチングマスク 2 4 a, 2 4 b を残したまま、積層体の上面全体を覆うように、例えばアルミナよりなる絶縁層 2 5 を、 $0.4 \sim 0.6 \mu\text{m}$  の厚みで形成する。絶縁層 2 5 は、上記磁性層においてエッチングされた部分を埋めるように自己整合的に形成される。次に、エッチングマスク 2 4 a, 2 4 b をリフトオフした後、例えば短時間の CMP によって、第 4 の層 1 0 f、連結層 1 0 g および絶縁層 2 5 の上面を研磨し平坦化する。この平坦化处理により、第 4 の層 1 0 f と絶縁層 2 5 との間および連結層 1 0 g と絶縁層 2 5 との間に生じていたわずかな段差がなくなると共に、エッチングマスク 2 4 a, 2 4 b のリフトオフ後の残渣やバリが除去される。

図 9 A および図 9 B は次の工程を示す。この工程では、積層体の上面全体を覆うように、記録ギャップ層 2 6 を、 $0.07 \sim 0.1 \mu\text{m}$  の厚みで形成する。記録ギャップ層 2 6 の材料は、アルミナ等の絶縁材料でもよいし、Ru、NiCu、Ta、W、NiB 等の非磁性金属材料でもよい。次に、記録ギャップ層 2 6 のうち、連結層 1 0 g に対応する部分を選択的にエッチングする。

次に、記録ギャップ層 2 6 の上にエッチングマスク 2 8 a を形成し、連結層 1 0 g の上にエッチングマスク 2 8 b を形成する。エッチングマスク 2 8 a は、記録ギャップ層 2 6 にスロートハイトを規定する端部を形成するためのマスクであり、第 4 の層 1 0 f の上方に配置される。エッチングマスク 2 8 a, 2 8 b は、後に容易にリフトオフできるように、底面が上面よりも小さくなるようにアンダーカットを有している。このようなエッチングマスク 2 8 a, 2 8 b は、例えば積層された 2 つの有機膜からなるレジスト層をパターンニングすることによって形成される。

図10Aおよび図10Bは次の工程を示す。この工程では、エッチングマスク28a、28bを用い、例えばイオンビームエッチングによって、記録ギャップ層26を選択的にエッチングし、更に第4の層10fの厚み方向の途中の位置まで第4の層10fを選択的にエッチングする。第4の層10fにおけるエッチング深さは、0.1~0.4 $\mu$ mの範囲内であることが好ましく、0.1~0.3 $\mu$ mの範囲内であることがより好ましい。このエッチングによって、記録ギャップ層26に、スロートハイトを規定する端部26aが形成される。

次に、リフトオフ法によって、非磁性材料よりなる非磁性層31を形成する。すなわち、エッチングマスク28a、28bを残したまま、積層体の上面全体を覆うように、非磁性層31を、0.2~0.8 $\mu$ mの厚みで形成する。非磁性層31は、記録ギャップ層26および第4の層10fにおいてエッチングされた部分を埋めるように自己整合的に形成される。非磁性層31は、その上面が記録ギャップ層26の上面とほぼ同じ高さの位置に配置されるように形成するのが好ましい。非磁性層31の材料は、アルミナ等の絶縁材料であってもよい。

図11Aおよび図11Bは次の工程を示す。この工程では、エッチングマスク28a、28bをリフトオフした後、例えばCMPによって、記録ギャップ層26および非磁性層31の上面を研磨し平坦化する。図11Aおよび図11Bにおいて、符号32は、研磨を停止する位置を示している。この研磨は、記録ギャップ層26および非磁性層31の上面に生じた凹凸をなくす程度とする。この研磨における研磨量は、例えば10~50nmの範囲内である。

図12Aおよび図12Bは次の工程を示す。この工程では、積層体の上面全体の上に、例えばスパッタ法によって、磁性材料よりなる磁性層33を、0.05~0.5 $\mu$ mの厚みで形成する。磁性層33の材料としては、CoFeN、FeAlN、FeN、FeCo、FeZrN等の高飽和磁束密度材料が用いられる。磁性層33の飽和磁束密度は高い方が好ましい。ここでは、一例として、磁性層33の材料として、飽和磁束密度が2.4TのCoFeNを用いるものとする。磁性層33は連結層10gに接続される。

次に、磁性層33の上に、例えばフレームめっき法によって、磁性材料よりなる磁性層30bを形成する。その際、磁性層33は電極およびシード層として用

いられる。磁性層 30 b の厚みは、例えば  $3 \sim 4 \mu\text{m}$  である。磁性層 30 b の材料としては、例えば、飽和磁束密度が  $2.3 \text{ T}$  の  $\text{CoNiFe}$  または  $\text{FeCo}$  が用いられる。磁性層 30 b は、記録ギャップ層 26 に対応する位置から連結層 10 g に対応する位置にかけて配置される。

図 13 A および図 13 B は次の工程を示す。この工程では、磁性層 30 b をエッチングマスクとして、例えばイオンビームエッチングによって、磁性層 33 および記録ギャップ層 26 を選択的にエッチングする。エッチング後の磁性層 33 は、磁性層 30 b と同じ平面形状を有する磁性層 30 a となる。また、上記のエッチングの後における磁性層 30 b の厚みは、例えば  $1 \sim 2 \mu\text{m}$  である。上部磁極層 30 は、磁性層 30 a, 30 b によって構成される。

図 16 に示したように、上部磁極層 30 は、エアベアリング面 42 に配置される一端部とエアベアリング面から離れた位置に配置される他端部とを有するトラック幅規定部 30 A と、このトラック幅規定部 30 A の他端部に連結されたヨーク部 30 B とを含んでいる。トラック幅規定部 30 A の幅は一定になっている。当初のトラック幅規定部 30 A の幅は、例えば  $0.15 \sim 0.2 \mu\text{m}$  程度とする。ヨーク部 30 B の幅は、トラック幅規定部 30 A との境界位置ではトラック幅規定部 30 A の幅と等しく、トラック幅規定部 30 A から離れるに従って、徐々に大きくなった後、一定の大きさになっている。

次に、図示しないが、トラック幅規定部 30 A の周辺部で開口するフォトレジストマスクを形成する。次に、上記フォトレジストマスクとトラック幅規定部 30 A とをマスクとして、例えばイオンビームエッチングによって、第 4 の層 10 f の一部をエッチングする。このエッチングは、例えば、イオンビームの進行方向が第 1 の層 10 a の上面に垂直な方向に対してなす角度が例えば  $35 \sim 55^\circ$  となるようにして行われる。第 4 の層 10 f におけるエッチングの深さは、 $0.1 \sim 0.4 \mu\text{m}$  であることが好ましく、 $0.1 \sim 0.3 \mu\text{m}$  であることがより好ましい。エッチングの深さ  $0.5 \mu\text{m}$  以上の場合には、目的とするトラックに隣接するトラックに情報が書き込まれるサイドライトや、目的とするトラックに隣接するトラックにおいて情報が消去されるサイドイレースが発生しやすくなる。

このようにして、第 4 の層 10 f の一部、記録ギャップ層 26 およびトラック

幅規定部 30 A のエアベアリング面における幅が揃えられたトリム構造が形成される。このトリム構造によれば、狭トラックの書き込み時に発生する磁束の広がりによる実効的な記録トラック幅の増加を防止することができる。

次に、例えばイオンビームエッチングによって、第 4 の層 10 f の一部、記録ギャップ層 26 およびトラック幅規定部 30 A の側壁部をエッチングして、エアベアリング面におけるこれらの幅を、例えば  $0.1\ \mu\text{m}$  になるように小さくする。このエッチングは、例えば、イオンビームの進行方向が第 1 の層 10 a の上面に垂直な方向に対してなす角度が  $40\sim 75^\circ$  となるようにして行われる。

図 14 A および図 14 B は次の工程を示す。この工程では、積層体の上面全体を覆うように、例えばアルミナよりなるオーバーコート層 34 を、 $20\sim 30\ \mu\text{m}$  の厚みで形成し、その表面を平坦化して、その上に、図示しない電極用パッドを形成する。最後に、上記各層を含むスライダの研磨加工を行ってエアベアリング面 42 を形成して、記録ヘッドおよび再生ヘッドを含む薄膜磁気ヘッドが完成する。

なお、本実施の形態において、フレイムめっき法によって上部磁極層 30 を形成する代わりに、図 17 A および図 17 B に示したように、以下の方法によって上部磁極層 30 を形成してもよい。図 17 A はエアベアリング面および基板の上面に垂直な断面を示し、図 17 B は磁極部分のエアベアリング面に平行な断面を示している。この方法では、まず、平坦化された記録ギャップ層 26 および非磁性層 31 の上面を含む積層体の上面全体の上に、スパッタ法によって、磁性材料よりなる磁性層を、 $1.0\sim 1.5\ \mu\text{m}$  の厚みで形成する。磁性層の材料としては、例えば、飽和磁束密度が  $2.4\ \text{T}$  の  $\text{CoFeN}$  または  $\text{FeCo}$  が用いられる。次に、この磁性層の上に、例えばアルミナよりなる絶縁層を、 $0.3\sim 2.0\ \mu\text{m}$  の厚みで形成する。次に、この絶縁層の上に、例えばフレイムめっき法によって、エッチングマスクを、例えば  $0.5\sim 1.0\ \mu\text{m}$  の厚みで形成する。エッチングマスクの材料としては、例えば、 $\text{NiFe}$  ( $\text{Ni}$  : 45 重量%,  $\text{Fe}$  : 55 重量%)、飽和磁束密度が  $1.9\sim 2.1\ \text{T}$  の  $\text{CoNiFe}$  ( $\text{Co}$  : 約 67 重量%,  $\text{Ni}$  : 約 15 重量%,  $\text{Fe}$  : 約 18 重量%) または飽和磁束密度が  $2.3\ \text{T}$  の  $\text{FeCo}$  ( $\text{Fe}$  : 約 60 重量%,  $\text{Co}$  : 約 40 重量%) が用いられる。この

エッチングマスクの平面形状は、磁性層 30b と同様である。このエッチングマスクにおいて、トラック幅を規定する部分の幅は、例えば  $0.1 \sim 0.2 \mu\text{m}$  である。

次に、エッチングマスクを用いて、例えば反応性イオンエッチングによって、絶縁層を選択的にエッチングする。このときのエッチングガスとしては、ハロゲン系ガス、例えば  $\text{Cl}_2$ 、あるいは  $\text{BCl}_3$  と  $\text{Cl}_2$  の混合ガスが用いられる。このエッチングでは、エッチングマスクを除去してもよいし、除去しなくてもよい。なお、エッチングマスクを除去した方が、後の磁性層のエッチングを正確に行うことができる。次に、絶縁層を新たなエッチングマスク 39 として、例えば反応性イオンエッチングによって、磁性層を選択的にエッチングする。磁性層のエッチング時の温度は、エッチング速度を大きくするために  $50^\circ\text{C}$  以上とすることが好ましい。特に、エッチング時の温度を  $200 \sim 300^\circ\text{C}$  の範囲内の温度とすることにより、良好なエッチングが可能になる。エッチング後の磁性層は上部磁極層 30 となる。

上述のように反応性イオンエッチングによって磁性層をエッチングして上部磁極層 30 を形成する場合には、記録ギャップ層 26 の材料としては、アルミナ、シリコンカーバイド ( $\text{SiC}$ )、窒化アルミニウム ( $\text{AlN}$ ) 等の非磁性の無機材料を用いることが好ましい。これにより、鉄とコバルトのうち少なくとも鉄を含む磁性材料、例えば  $\text{CoFeN}$  や  $\text{FeCo}$  よりなる磁性層を反応性イオンエッチングによってエッチングする際に、記録ギャップ層 26 のエッチングレートを磁性層のエッチングレートよりも小さくすることができる。その結果、エッチング後の磁性層の側壁が記録ギャップ層 26 の上面に対してなす角度を  $90^\circ$  に近づけることができ、これにより、トラック幅を正確に規定することができる。

このことを詳しく説明する。例えばアルミナよりなるエッチングマスク 39 を用いて、反応性イオンエッチングによって、鉄とコバルトのうち少なくとも鉄を含む磁性層をエッチングする場合を考える。この場合、エッチングガス中の  $\text{Cl}_2$  と、磁性層中の鉄、あるいは鉄およびコバルトとによるプラズマ反応生成物が、エッチング後の磁性層の側壁に付着する。そのため、エッチング中において、エッチングによって形成される底部が記録ギャップ層 26 の近傍に達するまでは

、エッチング後の磁性層の形状は、エッチング後の磁性層の幅が下側ほど大きくなった形状になりやすい。しかし、エッチングによって形成される底部が記録ギャップ層 26 の近傍に達すると、上記プラズマ反応生成物は極端に少なくなる。エッチングによって形成される底部が記録ギャップ層 26 に達した後、さらにエッチングを続けると、今度は、エッチング後の磁性層の側壁のうちの底部に近い部分がエッチングされて行き、最後には、エッチング後の磁性層の形状は、エッチング後の磁性層の側壁が記録ギャップ層 26 の上面に対してなす角度が  $90^\circ$  に近い形状となる。このような形状の磁性層を形成するには、エッチング中において、エッチング後の磁性層が上記形状になるまでは、記録ギャップ層 26 の下の他の磁性層が露出しないことが必要である。なぜならば、エッチング中に記録ギャップ層 26 の下の他の磁性層が露出すると、この露出した磁性層がエッチングされることによって発生するプラズマ反応生成物が、エッチング後の磁性層の側壁に付着するからである。

ここで、記録ギャップ層 26 の材料として、アルミナ、シリコンカーバイド (SiC)、窒化アルミニウム (AlN) 等の非磁性の無機材料を用いると、記録ギャップ層 26 のエッチングレートを磁性層のエッチングレートよりも小さくすることができる。これにより、磁性層のエッチング中において、エッチング後の磁性層が上記形状になるまで、記録ギャップ層 26 の下の他の磁性層が露出しないようにすることができる。その結果、エッチング後の磁性層の側壁が記録ギャップ層 26 の上面に対してなす角度を  $90^\circ$  に近づけることができる。

上述のように磁性層を反応性イオンエッチングによってエッチングする際の好ましい条件は、以下のとおりである。チャンバー内の圧力 (真空度) は  $0.1 \sim 1.0$  Pa であることが好ましい。エッチング時の温度は  $200 \sim 300^\circ\text{C}$  であることが好ましい。エッチングガスは、 $\text{Cl}_2$  を含むものが好ましく、 $\text{Cl}_2$  に加え  $\text{BCl}_3$  および  $\text{CO}_2$  を含むものであることがより好ましい。エッチングガスにおける  $\text{Cl}_2$  の流量は  $100 \sim 300$  cc m であることが好ましい。また、エッチングガスにおける  $\text{BCl}_3$  の流量は、 $\text{Cl}_2$  の流量の 50% 以下であることが好ましい。 $\text{BCl}_3$  の流量が  $\text{Cl}_2$  の流量の 50% を超えると、アルミナがエッチングされ易くなる。また、エッチングガスにおける  $\text{CO}_2$  の流量は、 $\text{Cl}_2$  の

流量の10%以下であることが好ましい。 $\text{CO}_2$ の流量が $\text{Cl}_2$ の流量の10%を超えると、記録ギャップ層26の上面に垂直な方向に対する磁性層の側壁の傾きが大きくなる。エッチング時の基板バイアスは150～500Wであることが好ましい。

また、上述のように磁性層を反応性イオンエッチングによってエッチングする際のエッチングマスク39の材料としては、記録ギャップ層26と同様に、アルミナ、シリコンカーバイド(SiC)、窒化アルミニウム(AlN)等の非磁性の無機材料を用いることが好ましい。その理由は、記録ギャップ層26と同様に、鉄とコバルトのうち少なくとも鉄を含む磁性材料、例えば $\text{CoFeN}$ や $\text{FeCo}$ よりなる磁性層を反応性イオンエッチングによってエッチングする際に、エッチングマスク39のエッチングレートを磁性層のエッチングレートよりも小さくすることができるからである。

上述のように磁性層を反応性イオンエッチングによってエッチングして、上部磁極層30を形成した場合には、その後、上部磁極層30をマスクとして、例えばイオンビームエッチングによって、記録ギャップ層26をエッチングする。次に、トラック幅規定部30Aの周辺部で開口する、図示しないフォトレジストマスクを形成し、このフォトレジストマスクとトラック幅規定部30Aとをマスクとして、例えばイオンビームエッチングによって、第4の層10fの一部をエッチングして、トリム構造を形成する。

また、本実施の形態において、第2のコイル19は、図3Aないし図6A、および図3Bないし図6Bを参照して説明した方法に代えて、以下の方法によって形成してもよい。この方法では、図2Aおよび図2Bに示した状態から、積層体の上面全体を覆うように絶縁膜17を形成する。次に、積層体の上面全体を覆うように電極膜を形成する。次に、電極膜の上に、例えばフレームめっき法によって、金属、例えばCuよりなる導電層19pを、例えば3～4 $\mu\text{m}$ の厚みで形成する。次に、電極膜のうち、導電層19pの下に存在する部分以外の部分を、例えばイオンビームエッチングによって除去する。次に、積層体の上面全体を覆うように、例えばアルミナよりなる絶縁層を、3～5 $\mu\text{m}$ の厚みで形成する。次に、例えばCMPによって、第2の層10b、連結層10cおよび第1のコイル1

3が露出するまで、絶縁層を研磨する。これにより、第2の層10bと第1のコイル13との間、第1のコイル13の巻線間、および連結層10cと第1のコイル13との間に残った導電層19pおよび電極膜によって、第2のコイル19が形成される。

本実施の形態における薄膜磁気ヘッドは、記録媒体に対向する媒体対向面としてのエアベアリング面42と、再生ヘッドと、記録ヘッド（誘導型電磁変換素子）とを備えている。

再生ヘッドは、エアベアリング面42の近傍に配置されたMR素子5と、エアベアリング面42側の一部がMR素子5を挟んで対向するように配置された、MR素子5をシールドするための下部シールド層3および上部シールド層8と、MR素子5と下部シールド層3との間に配置された下部シールドギャップ膜4と、MR素子5と上部シールド層8との間に配置された上部シールドギャップ膜7とを有している。

記録ヘッドは、エアベアリング面42側において互いに対向する磁極部分を含むと共に、互いに磁氣的に連結された下部磁極層10および上部磁極層30と、下部磁極層10の磁極部分と上部磁極層30の磁極部分との間に設けられた記録ギャップ層26と、少なくとも一部が下部磁極層10と上部磁極層30との間に、これらに対して絶縁された状態で設けられたコイル13、19とを備えている。本実施の形態における下部磁極層10、上部磁極層30は、それぞれ本発明における第1の磁極層、第2の磁極層に対応する。

下部磁極層10は、第1の層10a、第2の層10b、第3の層10d、第4の層10fおよび連結層10c、10e、10gを有している。第1の層10aは、コイル13、19に対向する位置に配置されている。第2の層10bは、エアベアリング面42の近傍において第1の層10aよりも上部磁極層30側に突出するように第1の層10aに接続されている。第3の層10dは、エアベアリング面42の近傍において第2の層10bよりも上部磁極層30側に突出するように第2の層10bに接続されている。第4の層10fは、エアベアリング面42の近傍において第3の層10dよりも上部磁極層30側に突出するように第3の層10dに接続されている。連結層10c、10e、10gは、下部磁極層1

0と上部磁極層30とを磁氣的に連結する連結部43を構成する。

上部磁極層30は、トラック幅を規定するトラック幅規定部30Aと、ヨーク部30Bとを有している。エアベアリング面42におけるトラック幅規定部30Aの幅はトラック幅に等しい。トラック幅規定部30Aは平坦になっている。

下部磁極層10の第4の層10fのうち、記録ギャップ層26を介して上部磁極層30のトラック幅規定部30Aと対向する部分は、下部磁極層10の磁極部分である。また、トラック幅規定部30Aのうち、記録ギャップ層26を介して第4の層10fと対向する部分は、上部磁極層30の磁極部分である。

図14Aに示したように、スロートハイトは、記録ギャップ層26におけるスロートハイトを規定する端部26aと第4の層10fとが接する位置によって規定される。すなわち、端部26aと第4の層10fとが接する位置とエアベアリング面42との距離がスロートハイトTHとなる。また、端部26aと第4の層10fとが接する位置がスロートハイトゼロ位置TH0となる。第4の層10fおよび上部磁極層30の飽和磁束密度は、2.4T以上であることが好ましい。

図15に示したように、本実施の形態における薄膜コイルは、一部が第2の層10bと連結層10cとの間に配置された巻線を有する第1のコイル13と、少なくとも一部が第1のコイル13の巻線間に配置された巻線を有する第2のコイル19と、第3の層10dの側方に配置され、コイル13、19を直列に接続する接続層21とを有している。第2のコイル19の巻線の一部も、第2の層10bと連結層10cとの間に配置されている。コイル13、19は、いずれも平面渦巻き状をなし、連結部43の回りに配置されている。また、コイル13、19は、いずれも、例えば、外側の端部から内側の端部にかけて時計回り方向に回っている。接続層21は、コイル13の接続部13aとコイル19の接続部19bとを最短距離で結んでいる。接続層21の厚みは、コイル13、19の厚みよりも小さくなっている。コイル13、19および接続層21の材料は、いずれも金属、例えばCuである。本実施の形態では、薄膜コイルは7ターンの巻線を有している。しかし、薄膜コイルの巻線は7ターンに限られるものではない。

本実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドの製造方法は、下部磁極層10を形成する工程と、下部磁極層10の上に薄膜コイル（コイル13、19および接続層21

）を形成する工程と、下部磁極層 10 の磁極部分の上に記録ギャップ層 26 を形成する工程とを備えている。

本実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドの製造方法は、更に、記録ギャップ層 26 の上に、記録ギャップ層 26 にスロートハイトを規定する端部 26 a を形成するためのエッチングマスク 28 a を形成する工程と、エッチングマスク 28 a を用いて記録ギャップ層 26 および下部磁極層 10 の第 4 の層 10 f の一部を選択的にエッチングすることによって、記録ギャップ層 26 にスロートハイトを規定する端部 26 a を形成する工程とを備えている。本実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドの製造方法は、更に、マスク 28 a を残したまま、記録ギャップ層 26 および第 4 の層 10 f においてエッチングされた部分を埋めるように非磁性層 31 を形成する工程と、この非磁性層 31 の形成後に、マスク 28 a を除去する工程と、マスク 28 a を除去した後に、記録ギャップ層 26 および非磁性層 31 の上面を研磨、例えば CMP によって平坦化する工程と、平坦化された記録ギャップ層 26 および非磁性層 31 の上面の上に、上部磁極層 30 を形成する工程とを備えている。

本実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドの製造方法は、更に、上部磁極層 30 のトラック幅規定部 30 A をマスクとして、このトラック幅規定部 30 A の幅に合うように、記録ギャップ層 26 および下部磁極層 10 の第 4 の層 10 f の一部をエッチングする工程を備えている。この工程により、第 4 の層 10 f の一部、記録ギャップ層 26 およびトラック幅規定部 30 A のエアベアリング面 42 における幅がトラック幅に揃えられる。

本実施の形態では、リフトオフ法によって、記録ギャップ層 26 および第 4 の層 10 f においてエッチングされた部分を埋めるように非磁性層 31 を形成する。従って、わずかな研磨で、記録ギャップ層 26 および非磁性層 31 の上面を平坦化することができる。これにより、平坦なトラック幅規定部 30 A を平坦な面の上に形成することができる。従って、本実施の形態によれば、トラック幅規定部 30 A を微細に且つ精度よく形成することができる。これにより、本実施の形態によれば、トラック幅を小さくして記録密度を向上させることができる。なお、非磁性層 31 を、その上面が記録ギャップ層 26 の上面とほぼ同じ高さの位置

に配置されるように形成すれば、記録ギャップ層 2 6 および非磁性層 3 1 の上面を研磨によって平坦化しなくても、トラック幅規定部 3 0 A をほぼ平坦な面の上に形成することができる。従って、この場合には、記録ギャップ層 2 6 および非磁性層 3 1 の上面を研磨によって平坦化する工程を省略することも可能である。

また、本実施の形態では、スロートハイトは、記録ギャップ層 2 6 の端部 2 6 a と第 4 の層 1 0 f とが接する位置によって規定される。そのため、本実施の形態では、端部 2 6 a の面が、第 1 の層 1 0 a の上面に垂直な方向に対して傾いていても、図 2 2 を参照して説明したような下部磁極層の研磨に伴うスロートハイトの変動は生じない。従って、本実施の形態によれば、スロートハイトを正確に制御することができる。

また、本実施の形態において、第 2 の層 1 0 b、第 3 の層 1 0 d、第 4 の層 1 0 f および上部磁極層 3 0 の材料として高飽和磁束密度材料を用いた場合には、磁路の途中での磁束の飽和を防止することができる。これには、特に、第 4 の層 1 0 f および上部磁極層 3 0 の材料として、飽和磁束密度が 2.4 T 以上の高飽和磁束密度材料を用いることが効果的である。これにより、薄膜コイルで発生した起磁力を効率よく記録に利用することが可能となり、その結果、優れたオーバーライト特性を有する記録ヘッドを実現することができる。

また、本実施の形態によれば、全体的に平坦な上面を有する第 1 の層 1 0 a の上に第 1 のコイル 1 3 を形成するので、第 1 のコイル 1 3 を、厚く、微細に、且つ精度よく形成することができる。また、本実施の形態によれば、巻線の少なくとも一部が第 1 のコイル 1 3 の巻線間に配置されるように第 2 のコイル 1 9 を形成するので、第 2 のコイル 1 9 も、厚く、微細に、且つ精度よく形成することができる。また、本実施の形態では、第 2 の層 1 0 b と第 2 のコイル 1 9 との間、第 1 のコイル 1 3 の巻線と第 2 のコイル 1 9 の巻線との間、および連結層 1 0 c と第 2 のコイル 1 9 との間は、それぞれ、薄い絶縁膜 1 7 によって分離される。従って、これらの間隔を極めて小さくすることができる。

これらのことから、本実施の形態によれば、コイル 1 3、1 9 を厚くしながら、ヨーク長を短くすることができる。これにより、本実施の形態によれば、ヨーク長を短く、すなわち磁路長を短くしながら、薄膜コイルの抵抗値を小さくする

ことが可能になる。従って、本実施の形態によれば、磁路長が短いことによって高周波帯域における記録特性に優れ、且つ薄膜コイルの抵抗値の小さい薄膜磁気ヘッドを実現することができる。

また、本実施の形態によれば、薄膜コイルの外周部を、薄い絶縁膜 17 を介して第 2 の層 10 b に隣接させることができる。すなわち、本実施の形態によれば、薄膜コイルをエアベアリング面 42 の近くに配置することができる。これにより、本実施の形態によれば、薄膜コイルで発生した起磁力を効率よく記録に利用することが可能となり、その結果、優れたオーバーライト特性を有する記録ヘッドを実現することができる。

なお、本実施の形態において、接続層 21 の代わりに、コイル 13, 19 を直列に接続するコイルを設けてもよい。これにより、ヨーク長を長くすることなく、また、薄膜コイルの抵抗値が増大することを防止しながら、薄膜コイルのターン数を増やすことができる。

#### [第 2 の実施の形態]

次に、図 18 A ないし図 20 A、および図 18 B ないし図 20 B を参照して、本発明の第 2 の実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドの製造方法について説明する。図 18 A ないし図 20 A はエアベアリング面および基板の上面に垂直な断面を示し、図 18 B ないし図 20 B は磁極部分のエアベアリング面に平行な断面を示している。

本実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドの製造方法では、図 10 A および図 10 B に示したように、非磁性層 31 を形成する工程までは、第 1 の実施の形態と同様である。ただし、本実施の形態では、非磁性層 31 のうち、少なくともスロートハイトを規定する端部 26 a の近傍における一部は、記録ギャップ層 26 の上面より上方に突出するように配置される。

図 18 A および図 18 B は次の工程を示す。この工程では、エッチングマスク 28 a, 28 b をリフトオフした後、積層体の上面全体の上に、例えばスパッタ法によって、磁性材料よりなる磁性層 50 を、 $0.1 \sim 0.2 \mu\text{m}$  の厚みで形成する。本実施の形態では、磁性層 50 の下地に凹凸があるため、磁性層 50 の上面にも凹凸が生じる。磁性層 50 の材料としては、CoFeN、FeAlN、F

e N、FeCo、FeZrN等の高飽和磁束密度材料が用いられる。磁性層50の飽和磁束密度は2.4 T以上であることが好ましい。ここでは、一例として、磁性層50の材料として、飽和磁束密度が2.4 TのCoFeNを用いるものとする。磁性層50は連結層10gに接続される。磁性層50は、本発明における第2の磁極層の第1の磁性層に対応する。

次に、例えばCMPによって、磁性層50の上面を研磨し平坦化する。図18Aおよび図18Bにおいて、符号51は、研磨を停止する位置を示している。この研磨は、磁性層50の上面に生じた凹凸をなくす程度とする。この研磨における研磨量は、例えば10～50 nmの範囲内である。

図19Aおよび図19Bは次の工程を示す。この工程では、積層体の上面全体の上に、例えばスパッタ法によって、磁性材料よりなる磁性層52を、0.05～0.5  $\mu$ mの厚みで形成する。磁性層52の材料としては、CoFeN、FeAlN、FeN、FeCo、FeZrN等の高飽和磁束密度材料が用いられる。磁性層52は、本発明における第2の磁極層の第2の磁性層に対応する。

次に、磁性層52の上に、例えばフレイムめっき法によって、磁性材料よりなる磁性層30eを形成する。その際、磁性層52は電極およびシード層として用いられる。磁性層30eの厚みは、例えば1～2  $\mu$ mである。磁性層30eの材料としては、例えば、飽和磁束密度が2.3 TのCoNiFeまたはFeCoが用いられる。磁性層30eは、記録ギャップ層26に対応する位置から連結層10gに対応する位置にかけて配置される。

図20Aおよび図20Bは次の工程を示す。この工程では、磁性層30eをエッチングマスクとして、例えばイオンビームエッチングによって、磁性層52、磁性層50および記録ギャップ層26を選択的にエッチングする。エッチング後の磁性層52、50は、それぞれ磁性層30eと同じ平面形状を有する磁性層30d、30cとなる。上部磁極層30は、磁性層30c、30d、30eによって構成される。本実施の形態における上部磁極層30の形状は、第1の実施の形態における上部磁極層30と同様である。

次に、図示しないが、上部磁極層30のトラック幅規定部30Aの周辺部で開口するフォトレジストマスクを形成する。次に、上記フォトレジストマスクとト

トラック幅規定部 30 A とをマスクとして、例えばイオンビームエッチングによって、第 4 の層 10 f の一部をエッチングする。このエッチングは、例えば、イオンビームの進行方向が第 1 の層 10 a の上面に垂直な方向に対してなす角度が例えば  $35 \sim 55^\circ$  となるようにして行われる。第 4 の層 10 f におけるエッチングの深さは、 $0.1 \sim 0.4 \mu\text{m}$  であることが好ましく、 $0.1 \sim 0.3 \mu\text{m}$  であることがより好ましい。エッチングの深さ  $0.5 \mu\text{m}$  以上の場合には、サイドライトやサイドイレーズが発生しやすくなる。このようにして、第 4 の層 10 f の一部、記録ギャップ層 26 およびトラック幅規定部 30 A のエアベアリング面における幅が揃えられたトリム構造が形成される。

次に、例えばイオンビームエッチングによって、第 4 の層 10 f の一部、記録ギャップ層 26 およびトラック幅規定部 30 A の側壁部をエッチングして、エアベアリング面におけるこれらの幅を、例えば  $0.1 \mu\text{m}$  になるように小さくする。このエッチングは、例えば、イオンビームの進行方向が第 1 の層 10 a の上面に垂直な方向に対してなす角度が  $40 \sim 75^\circ$  となるようにして行われる。

次に、積層体の上面全体を覆うように、例えばアルミナよりなるオーバーコート層 34 を、 $20 \sim 30 \mu\text{m}$  の厚みで形成し、その表面を平坦化して、その上に、図示しない電極用パッドを形成する。最後に、上記各層を含むスライダの研磨加工を行ってエアベアリング面 42 を形成して、記録ヘッドおよび再生ヘッドを含む薄膜磁気ヘッドが完成する。

本実施の形態では、スロートハイトは、記録ギャップ層 26 におけるスロートハイトを規定する端部 26 a と上部磁極層 30 の磁性層 30 c とが接する位置によって規定される。すなわち、端部 26 a と磁性層 30 c とが接する位置とエアベアリング面 42 との距離がスロートハイト TH となる。また、端部 26 a と磁性層 30 c とが接する位置がスロートハイトゼロ位置 TH0 となる。本実施の形態では、端部 26 a の面が、第 1 の層 10 a の上面に垂直な方向に対して傾いていても、図 22 を参照して説明したような下部磁極層の研磨に伴うスロートハイトの変動は生じない。従って、本実施の形態によれば、スロートハイトを正確に制御することができる。

本実施の形態におけるその他の構成、作用および効果は、第 1 の実施の形態と

同様である。

なお、本発明は、上記各実施の形態に限定されず、種々の変更が可能である。例えば、各実施の形態では、コイル 13、19 および接続層 21 を有する薄膜コイルを設けている。しかし、本発明における薄膜コイルは、これに限らず、1 層以上の平面渦巻き状のコイルよりなる一般的な薄膜コイルであってもよい。

また、上部磁極層は、トラック幅規定部 30A を含む層とヨーク部 30B を含む層とが別個になっているものであってもよい。この場合には、トラック幅規定部 30A を含む層を、トリム構造を形成するエッチングの際のマスクとする。

また、本発明は、誘導型電磁変換素子のみを有する記録専用の薄膜磁気ヘッドや、誘導型電磁変換素子によって記録と再生を行う薄膜磁気ヘッドにも適用することができる。

以上の説明に基づき、本発明の種々の態様や変形例を実施可能であることは明らかである。従って、以下の請求の範囲の均等の範囲において、上記の最良の形態以外の形態でも本発明を実施することが可能である。

## クレーム

### 1. 記録媒体に対向する媒体対向面と、

前記媒体対向面側において互いに対向する磁極部分を含むと共に、互いに磁氣的に連結された第1および第2の磁極層と、

前記第1の磁極層の磁極部分と前記第2の磁極層の磁極部分との間に設けられたギャップ層と、

少なくとも一部が前記第1および第2の磁極層の間に、前記第1および第2の磁極層に対して絶縁された状態で設けられた薄膜コイルとを備え、

前記第2の磁極層は、トラック幅を規定するトラック幅規定部を含む薄膜磁気ヘッドを製造する方法であって、

前記第1の磁極層を形成する工程と、

前記第1の磁極層の上に前記薄膜コイルを形成する工程と、

前記第1の磁極層の磁極部分の上に前記ギャップ層を形成する工程と、

前記ギャップ層の上に、前記ギャップ層にスロートハイトを規定する端部を形成するためのマスクを形成する工程と、

前記マスクを用いて前記ギャップ層および第1の磁極層の一部を選択的にエッチングすることによって、前記ギャップ層にスロートハイトを規定する端部を形成する工程と、

前記マスクを残したまま、前記ギャップ層および第1の磁極層においてエッチングされた部分を埋めるように非磁性層を形成する工程と、

前記非磁性層の形成後に、前記マスクを除去する工程と、

前記マスクを除去した後に、前記ギャップ層の上に、前記第2の磁極層を形成する工程と

を備えたことを特徴とする薄膜磁気ヘッドの製造方法。

2. 前記スロートハイトは、前記スロートハイトを規定する端部と前記第1の磁極層とが接する位置によって規定されることを特徴とする請求項1記載の薄膜磁気ヘッドの製造方法。

3. 更に、前記マスクを除去する工程と前記第2の磁極層を形成する工程との間において、前記ギャップ層および非磁性層の上面を研磨により平坦化する工程を備えたことを特徴とする請求項2記載の薄膜磁気ヘッドの製造方法。

4. 前記平坦化する工程における研磨量は10～50nmの範囲内であることを特徴とする請求項3記載の薄膜磁気ヘッドの製造方法。

5. 前記第2の磁極層のトラック幅規定部は平坦であることを特徴とする請求項2記載の薄膜磁気ヘッドの製造方法。

6. 前記非磁性層を形成する工程において、前記非磁性層のうち、少なくとも前記スロートハイトを規定する端部の近傍における一部は、前記ギャップ層の上面よりも上方に突出するように配置され、前記スロートハイトは、前記スロートハイトを規定する端部と前記第2の磁極層とが接する位置によって規定されることを特徴とする請求項1記載の薄膜磁気ヘッドの製造方法。

7. 前記第2の磁極層は、前記ギャップ層の上に配置される第1の磁性層と、前記第1の磁性層の上に配置される第2の磁性層とを含み、

前記第2の磁極層を形成する工程は、前記ギャップ層の上に前記第1の磁性層を形成する工程と、

前記第1の磁性層の上面を研磨により平坦化する工程と、

平坦化された前記第1の磁性層の上面の上に、前記第2の磁性層を形成する工程とを含むことを特徴とする請求項6記載の薄膜磁気ヘッドの製造方法。

8. 前記平坦化する工程における研磨量は10～50nmの範囲内であることを特徴とする請求項7記載の薄膜磁気ヘッドの製造方法。

9. 更に、前記第1の磁極層の一部、ギャップ層、トラック幅規定部の媒体対向面における幅をトラック幅に揃えるために、前記第2の磁極層の前記トラック

幅規定部の幅に合うように、前記ギャップ層および第 1 の磁極層の一部をエッチングする工程を備えたことを特徴とする請求項 1 記載の薄膜磁気ヘッドの製造方法。

10. 前記第 2 の磁極層を形成する工程は、前記ギャップ層の上に磁性層を形成する工程と、エッチング後の前記磁性層が前記第 2 の磁性層となるように、前記磁性層を反応性イオンエッチングによってエッチングする工程とを有し、

前記ギャップ層は非磁性の無機材料よりなることを特徴とする請求項 1 記載の薄膜磁気ヘッドの製造方法。

11. 前記非磁性の無機材料は、アルミナ、シリコンカーバイド、窒化アルミニウムのいずれかであることを特徴とする請求項 10 記載の薄膜磁気ヘッドの製造方法。

## 要約

薄膜磁気ヘッドの製造方法では、下部磁極層を形成し、下部磁極層の上に薄膜コイルを形成し、下部磁極層の磁極部分の上に記録ギャップ層を形成する。次に、マスクを用いて記録ギャップ層および下部磁極層の一部を選択的にエッチングすることによって、記録ギャップ層にスロートハイトを規定する端部を形成する。次に、マスクを残したまま、記録ギャップ層および下部磁極層においてエッチングされた部分を埋めるように非磁性層を形成する。次に、マスクを除去した後に、記録ギャップ層および非磁性層の上面を研磨により平坦化し、その上に、上部磁極層を形成する。